



はじめに

今回と次回は、正弦波発振回路の設計法を紹介しましょう。正弦波発振回路は調和発振回路とも呼びます。

正弦波発振回路の用途としてポピュラーなのは、正弦波発振器です。皆さんも、正弦波発振器を測定用信号源として、回路の周波数特性を測定するときに使用した経験はもっていると思います。

最も正弦波発振回路が使用されているのは、デジタル回路の基準クロック発生回路でしょう。正弦波を方形波に整形してから、デジタル回路の基準クロックとして利用しています。このほうが、周波数が安定なためです。最初から方形波を発振させる回路を弛張発振回路と言いますが、周波数の安定度は水晶振動子を使用した正弦波発振回路にはかないません。

正弦波発振回路は、今までに説明した負帰還増幅回路の発振条件を満足しています。負帰還増幅回路と異なるのは、発振がスタートしたのち、振幅と周波数を一定に保たれていることです。

正弦波発振回路には、CR型、LC型、機械振動子型がありますが、今回はCR型を、次回はLC型と機械振動子型を取り上げます。

正弦波発振回路の種類と選び方

● 周波数選択回路によって三つに分類できる

正弦波発振回路は、その心臓部である周波数選択回路の違いによって、大きく次の三つに分けることができます。

① CR型

② LC型

③ 機械振動子型

これらの中から、それぞれの特徴を理解して、要求仕様にあった回路を選択します。表19-1に今回と次回紹介する正弦波発振回路の特徴をまとめました。

● 発振周波数に着目した選び方

周波数が数百kHz以上の場合には、LC型か機械振動子型を使います。図19-1に回路方式と実用周波数範囲との対応を示します。

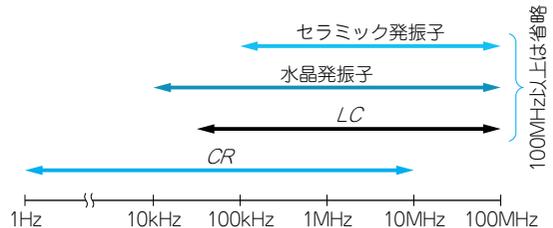
● 発振周波数の安定度に着目した選び方

周波数安定度はどの位必要か、周波数を可変する必要があるかどうかによっても、最適な回路方式は異なります。

10<sup>-5</sup>以上の周波数精度が必要な場合には、水晶発振回路を選択します。

安定度はそれほど必要なく、周波数を可変抵抗器などで可変したいときは、CR発振回路がよいでしょう。

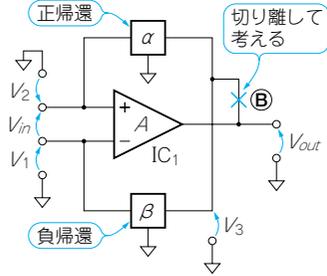
〈図19-1〉 正弦波発振回路の方式と実用周波数範囲との対応



〈表19-1〉<sup>(1)</sup> 周波数選択回路による発振回路の分類

発振回路のタイプ	記号	周波数					価格	形状	
		調整	初期精度	温度係数	長期安定性	可変範囲			
CR型	○—w—  —○	要	悪い(CR部品の精度による)		良くない	広い	安価	小	
LC型	○—∞∞—  —○	要	悪い(LC部品の精度による)		良くない	中	安価	大	
機械振動子型	水晶発振子	○—  —○	不要	±0.001%	1 ppm/°C以下	非常に良い	非常に狭い	高価	中
	セラミック発振子	○—  —○	不要	±0.5%	10 ppm/°C	非常に良い	狭い	安価	小

〈図19-2〉CR型正弦波発振回路と発振の条件



点Bで切り離して考えると、次式が成り立つ。  
 $V_{out} = AV_{in}$   
 $V_{in} = V_1 - V_2$   
 $V_1 = \beta V_3, V_2 = \alpha V_3$   
 $\therefore \frac{V_{out}}{V_3} = (\alpha - \beta)A \dots\dots\dots (19-1)$   
 よって、発振条件は次のとおり。  
 $\angle \frac{V_{out}}{V_3} = \angle (\alpha - \beta)A = 0^\circ \dots\dots\dots (19-2)$   
 $\left| \frac{V_{out}}{V_3} \right| = |(\alpha - \beta)A| \geq 1 \dots\dots\dots (19-3)$   
 ただし、A: オープン・ループ・ゲイン,  $\alpha$ : 正帰還率,  
 $\beta$ : 負帰還率  
 単一周波数で発振するためには、上記発振条件式(19-2)と式(19-3)が単一周波数 $f_0$ ( $\omega_0$ )でだけ成立する必要がある。よって、正帰還回路または負帰還回路に周波数選択回路(BPFまたはBEF)を含む必要がある。

高安定で可変の発振周波数が必要なときは、水晶発振回路を原発振とするDDS<sup>(2)</sup>(Direct Digital Synthesizer)などのデジタル回路を使います。

● 高調波ひずみ率を低減したいとき

CR発振回路を採用して、ひずみを小さくしたいときは状態変数型を採用します。  
 周波数が高安定で、低ひずみとしたいときは、水晶発振回路に高次のLPFを組み合わせます。

**CR発振回路の動作**

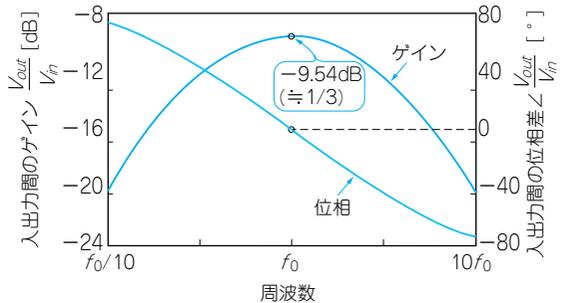
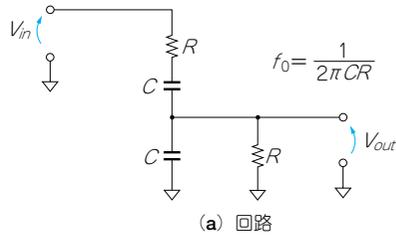
● CR発振回路はアクティブBPFの発展形である

図19-2に示すのは、一般的なCR発振回路です。  
 CR発振回路の基本形は、CRパッシブBPFまたはBEFを利用したQが無限大のアクティブBPFです。  
 使用できるBPFには多くの種類があります。そのなかでも有名なのは、最初に実用化されたウィーン・ブリッジを使用したターマン発振回路です。その後、低ひずみ広帯域発振回路として、ブリッジドT型回路を使用したザルツァ発振回路が現れました。現在、簡単に低ひずみ発振が可能なのは状態変数型です。

● 負帰還回路の発振との違い

▶ 周波数と振幅が安定している必要がある

〈図19-3〉ウィーン・ブリッジ回路の周波数特性…BPF特性を示す



(b) 利得と位相の周波数特性

CR型が発振する条件は負帰還回路の発振と同じです。つまり、一巡ループ・ゲイン  $A\beta$  が1以上であることです。

ただし、負帰還回路を不安定にすれば発振回路になるかというところはきません。なぜなら、発振周波数と出力振幅が安定しないからです。周波数と振幅を安定にするのが、発振回路の難しいところです。

● 発振スタートの条件…  $A\beta > 1$  + トリガ

発振が始まるためには、 $A\beta > 1$  の条件とトリガ信号が必要です。

トリガ信号がないと発振が始まりませんが、内部の雑音や電源投入時の過渡現象がトリガ信号になりますから、実際の回路ではわざわざ加える必要はありません。シミュレーションのときは、外部からトリガ信号を加える必要があります。

発振回路は、正帰還と負帰還が混在しており、解析は簡単ではありません。重要な特性である一巡ループ・ゲインは、図19-2のように適当なところでループを切断して求めます。ループ・ゲインの位相がゼロ、絶対値が1以上のとき発振します。

● 発振開始後、振幅と周波数を一定に持続するには  $A\beta \gg 1$  にすると、急速に発振が始まります。

安定な発振を持続するためには、 $A\beta = 1$  が成り立っている必要があります。単に、負帰還回路を発振させると、OPアンプ内部でクリップが生じて、ひずんだ波形になります。